

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka Imatra
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikan suuntautumisvaihtoehto

Mikko Suomalainen

LÄMPÖKUVAUS SÄHKÖKUNNOSSAPIDOSSA

Opinnäytetyö 2011

TIIVISTELMÄ

Mikko Suomalainen

Lämpökuvaus sähkökunnossapidossa, 37 sivua, 2 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu, Imatra

Tekniikka, Sähkötekniikan koulutusohjelma

Sähkövoimatekniikan suuntautumisvaihtoehto

Opinnäytetyö 2011

Ohjaaja: Lehtori Kari Manninen, Saimaan AMK

Sähtöturvallisuuslain mukaan sähkölaitteiston haltijan on huolehdittava laitteiden kunnosta. Yksi tehtävän hoidossa apuna käytettävistä keinoista on lämpökuvaus. Nykyaikaiset lämpökamerat ovat pieniä ja helppokäyttöisiä, mutta kameras käyttö ja kuvien tulkinta vaatii kuitenkin perustietoa termodynamiikasta ja kuvattavasta kohteesta. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää lämpökuvauksen perusteita ja kameras käyttöä sekä tiedon soveltamista sähköjärjestelmien vikojen paikantamiseen.

Työn toteutus tapahtui lämpökuvaamalla sekä sähkökeskuksia Etelä-Karjalan koulutuskuntayhtymän kiinteistöissä että laboratoriossa simuloituja erilaisia vikatilanteita. Teoriaosuudessa käydään läpi lämpökuvausta ja lämpökameras käyttöä sekä sähkölaitteiden lämpenemisen syitä. Kuvien tulkinta suoritettiin teoriaosuudessa käsiteltyjen periaatteiden mukaisesti. Lisäksi käytössä oli teollisuuden kunnossapidon lämpökuvia vikatilanteista.

Sähkökeskusten lämpökuvausten ongelmaksi osoittautui näköyhteyden saaminen virrallisiin osiin sekä liian pienet kuormitusvirrat. Kuvausten luotettavuutta on mahdollista lisätä ajoittamalla ne suurimman kuormituksen hetkelle ja valmistelemalla kuvattavat kohteet etukäteen. Simuloidut vikatilanteet ja teollisuuden lämpökuvat osoittavat, että lämpökameralla on havaittavissa sähköjärjestelmien vikoja, jotka muuten jäisivät huomaamatta. Tätä lämpökameras tarjoamaa apua kannattaa käyttää hyödyksi järjestelmien käyttövarmuuden lisäämiseksi.

Asiasanat: lämpökuvaus, kunnossapito, sähkö, lämpökamerat

ABSTRACT

Mikko Suomalainen

Thermal Imaging in Electrical Maintenance, 37 pages, 2 appendices

Saimaa University of Applied Sciences, Imatra

Electrical Engineering

Electrical Power Engineering

Final Year Project 2011

Tutor: Mr Kari Manninen, MSc, Senior Lecturer, Saimaa UAS

The objective of this final thesis was to study basics of thermal imaging in electrical maintenance by conducting thermographs in selected electrical centers.

The information was gathered from literature and internet. Thermal images were analyzed and shown in form of a report.

The results of the study show that thermal imaging can be helpful in finding problems in electrical systems.

Key Words: Thermal Imaging, Maintenance, Electricity, Thermal Imagers

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	5
2 SÄHKÖKUNNOSSAPITO	6
2.1 Kunnossapidon yleinen määrittely ja lajit	6
2.2 Ennakoivan kunnossapidon toiminnoista	7
2.3 Sähkölaitteistojen lämpeneminen	7
2.4 Sähköpalot	8
3 LÄMPÖKUVAUS YLEISESTI	9
3.1 Lämpökuvauksen periaate	9
3.1.1 Lämpösäteily	10
3.1.2 Emissiivisyys	11
3.2 Lämpökuvauksen hyödyt	13
3.3 Lämpökameroiden ominaisuuksia	13
3.3.1 Mittausominaisuudet	13
3.3.2 Optiikka	14
3.4 Lämpökamera vs. infrapunalämpömittari	14
4 LÄMPÖKAMERAN KÄYTTÖ	15
4.1 Asetukset	15
4.2 Kuvauksen tarkkuutta heikentävät tekijät	17
4.3 Kuvien käsittely ja analysointi	18
4.3.1 Fluke SmartView	18
4.3.2 Kuvien tulkinta	19
4.3.3 Raportointi	20
5 SÄHKÖLAITTEISTOJEN LÄMPÖKUVAUS	21
5.1 Huomioitavaa sähköjärjestelmien lämpökuvauksessa	22
5.1.1 Kuormitus	22
5.1.2 Turvallisuus	23
5.1.3 Kohteen emissiivisyyden vaikutus	23
5.2 Havaittavia vikoja	23
5.2.1 Löysä tai syöpynyt liitos	24
5.2.2 Epäsymmetrinen kuorma tai ylikuormitus	24
5.2.3 Muita mahdollisia vikoja	25
5.3 Esimerkkitapauksia teollisuuden sähkökunnossapidosta	25
6 KUVATUT SÄHKÖKESKUKSET	27
6.1 Lämpökamera Fluke Ti25 ja käytetyt asetukset	27
6.2 Nousukeskus 1	28
6.3 Nousukeskus 3	28
6.4 Ryhmäkeskus 1	29
6.4 Ryhmäkeskus 11	31
6.4 Ryhmäkeskus 21	31
6.4 Laboratoriokuvaukset	32
7 YHTEENVETO	33
LÄHTEET	36

LIITTEET

Liite 1 Lämpökuvausraportti - NK1

Liite 2 Lämpökuvausraportti - RK1

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aihe on lähtöisin Etelä-Karjalan koulutuskuntayhtymän halusta suorittaa valikoitujen sähkökeskusten lämpökuvauksia yhtymän kiinteistöissä. Minulle tarjoutui tilaisuus tutustua lämpökuvaukseen ja suorittaa keskusten lämpökuvaus opinnäytetyönä. Keskusten lisäksi opinnäytetyötä varten kuvataan sähkölaitteistoissa esiintyviä vikatilanteita laboratoriossa.

Keskusten kuvaaminen tapahtuu kiinteistönhoitajan avustuksella, joka hoitaa keskusten avaamisen ja virtamittaukset. Kuvauksissa käytettävä lämpökamera on Fluke Ti25 ja kuvien käsittelyyn käytetään kameran valmistajan analysointiohjelmistoa. Työssä käydään läpi kuvattujen sähkökeskusten lämpökuvaukset ja havaituista ongelmakohdista tehdään lämpökuvausraportit.

Internet- ja kirjallisuuslähteistä kootussa teoriaosuudessa käsitellään lämpökuvauksia ja kameran käyttöä yleisesti sekä pyritään perustelemaan sen käyttötarpeita sähkökunnossapidossa. Työssä selvitetään myös sähköjärjestelmien lämpökuvauksen erityisvaatimuksia ja sillä havaittavia vikoja. Lisäksi esitetään lämpökuvia nykyisen työpaikkani, Stora Enson Imatran tehtaiden kunnossapidosta vastaavan Efora Oy:n, sähköjakelun ennakko- ja huollon lämpökuvauksista.

Työ keskittyy lämpökameran käyttöön sähkökunnossapidon apuvälineenä sekä lämpökuvauksella havaittaviin sähkötekniisiin vikatilanteisiin. Huoltotoimenpiteet ja kunnossapito muilta osin on rajattu työn ulkopuolelle.

2 SÄHKÖKUNNOSSAPITO

Sähkölaitteistojen huolto ja käyttö perustuu sähköturvallisuuslakiin (410/96) ja sen perusteella annettuihin määräyksiin. Sähkölaitteisto on sähkölaitteista, sähkökeskuksista, johdoista ja asennustarvikkeista sekä muista vastaavista osista muodostuva kiinteä kokonaisuus. Sähkölaitteistot on jaoteltu luokkiin, joiden perusteella määräytyvät tarvittavat tarkastukset sekä ilmoitukset. Laitteiston luokitukseen vaikuttavat laitteiston laajuus sekä tietyt erityisominaisuudet. Luokituksesta riippumatta sähkölaitteistoja on hoidettava niin, ettei niistä aiheudu vaaraa kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle. Lain tai määräyksien noudattamatta jättämisen vuoksi sähköturvallisuusviranomaisen voi määrätä korjaamaan puutteellisuudet, asettaa sille rajoituksia tai kieltää toiminnan. (Turvatekniikan keskus 2004.)

Sähkölaitteiston tarkastuksia, huoltoa ja kunnossapitoa koskeva sähköturvallisuuslain (410/96) nojalla annettu Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteistojen käyttöönotosta ja käytöstä (517/96) edellyttää, että

sähkölaitteiston haltijan on huolehdittava siitä, että laitteiston kuntoa ja turvallisuutta tarkkaillaan ja että havaitut puutteet ja viat poistetaan riittävän nopeasti.

Osalle sähkölaitteistoja on lisäksi laadittava ennalta sähköturvallisuutta ylläpitävä kunnossapito-ohjelma ja tietyille käytössä oleville sähkölaitteistoille on tehtävä määräaikaistarkastus laitteistosta riippuen 5, 10 tai 15 vuoden välein.

2.1 Kunnossapidon yleinen määrittely ja lajit

Kunnossapito on yleisnimitys toimenpiteille, joiden tavoitteena on koneiden, laitteiden ja rakennusten toimintakunnon ylläpito. Termiin sisältyy sekä teknillisiä, taloudellisia että hallinnollisia toimintoja. (Opetushallitus.)

Kunnossapito voidaan jakaa erilaisiin osa-alueisiin tai kunnossapitolajeihin. Lajittelulla ei ole yhtenäistä esitystapaa, mutta yleinen jakotapa lajeille on jako ennakoiwaan, korjaavaan ja parantavaan kunnossapitoon. Optimoimalla resurssi-

en jaon lajien kesken kunnossapidon kokonaiskustannukset voidaan minimoida. Yksinkertaistaen korjaava kunnossapito tarkoittaa jo syntyneen vian korjaamista, ja ennakoivassa kunnossapidossa vikatilanteisiin pyritään puuttumaan aikaisemmin. Parantavan kunnossapidon tavoitteena on vähentää kunnossapidon tarvetta laitteiden suorituskykyä, käytettävyyttä, luotettavuutta ja turvallisuutta lisäävillä toiminnoilla. (Saarenpää 2006.)

2.2 Ennakoivan kunnossapidon toiminnoista

Ennakoivan kunnossapidon tavoitteena on ennen vian ilmenevistä tapahtuvilla ehkäisevillä toimenpiteillä estää laitteiden vikaantumisesta aiheutuvat häiriöt. Näitä toimenpiteitä ovat erilaiset mittaukset, tarkastukset, testaukset ja huolto-toimenpiteet. Muun toiminnan ohella tapahtuvan tarkkailun ja huollon sekä valmiiden suunnitelmien mukaisesti jaksotettujen kunnossapidon toimenpiteiden lisäksi ennakoivaan kunnossapitoon oleellisesti kuuluu myös kohteen tilan seuranta erilaisten mittausten avulla. Kohteesta riippuen mitattavana voi olla monia laitteen toimintakunnosta kertovia suureita. (Opetushallitus.)

Yksi mahdollisesti mitattavista suureista on lämpötila. Normaalista poikkeavat lämpötila-arvot voivat paljastaa päällepäin näkymättömiä vikoja, jotka muuten voisivat aiheuttaa suurempia vahinkoja. Moneen käyttökohteeseen hyvin soveltuva väline vikakohteiden paljastamiseen on lämpökamera, jonka lämpökuvasta lämpötilaerot ovat heti havaittavissa. (Opetushallitus.)

2.3 Sähkölaitteistojen lämpeneminen

Kun johtimessa tai muussa sähkövirran kulkutiessä kulkee virta, johtimen resistanssin aiheuttama tehohäviö muuttuu lämmöksi ja johdin lämpenee. Johtojen ja kaapelien oikealla mitoituksella sekä erilaisilla suojalaitteilla, kuten sulakkeilla, tämä resistiivinen lämpeneminen pysyy normaalitilanteessa riittävän pienellä. Suojalaitteista huolimatta jokin sähkölaitteiston osa voi jostakin syystä kuu-

mentua liikaa, jolloin seurauksena voi olla osan hajoaminen tai jopa tulipalo. (Sähkötarkastusyhdistys 2003; Suvanto & Laajalehto 2006.)

Yliämpeneminen tai muuten poikkeavat lämpötilat voivat johtua useasta eri syystä, joten termodynamiikan tuntemisen lisäksi laitteistoa tutkittaessa on syytä löytyä ymmärrystä myös laitteiston toiminnasta. Sähkölaitteiston lämpenemisen syynä voi olla mm. huono liitos, ylikuormitus, harmoniset yliaallot, epäsymmetrinen kuormitus sekä alimitoitus. Syyn selvittämiseksi on tehtävä muita mittauksia tärkeimpänä kuormituksen mittaaminen. (Fluke Corporation 2008; Fluke Corporation & The Snell Group 2009.)

2.4 Sähköpalot

Tulipalon syttymisen edellytyksenä ovat palava materiaali, happi sekä syttysenergia. Paloa jonka syttymisen mahdollistavana energialähteenä on sähkö, kutsutaan yleisesti sähköpaloksi. Ensimmäisenä palamaan voi syttyä sähkölaitteen tai -asennuksen vikaantunut komponentti. Aina näin ei kuitenkaan tapahdu vaan varsinainen sähköinen vika voi tuottaa niin paljon lämpöä, että lähellä olevat palavat aineet syttyvät, tai ensimmäisestä viasta voi seurata tapahtumaketju, joka johtaa muiden osien tai komponenttien vikaantumiseen ja palon syttymiseen. Tyypillisesti sähköpalot ovatkin seuraus monista tapahtumista, joiden vaikutukset näkyvät ehkä vasta pitkän ajan kuluttua alkusyyn jälkeen. Sähkölaitteistoissa syttyvät palot etenevät usein siten, että ylikuumeneminen aiheuttaa eristeiden vaurioitumisen, jonka seurauksena tapahtuva valokaari johtaa tulipalon syttymiseen. (Nurmi & Nenonen & Sjöholm 2005.)

Sähköpalon syynä voi olla suunnittelu- tai valmistusvirhe, väärä asennus, puutteellinen kunnossapito tai väärä tai huolimaton käyttö. Seuraavat syyt ovat yleisiä sähkölaitteistoissa syttyvän tulipalon aiheuttajia:

- valokaaren syttyminen jossain laitteiston osassa
- ilman valokaarta tapahtuva resistiivinen lämpeneminen

- mekaanisesti tai kemiallisesti tapahtuva eristeiden vaurioituminen
- kosteuden tai veden aiheuttama oikosulku
- tilassa tapahtuva kipinäointi sytyttää palavan kaasun, höyryn tai pölyn.

Sähkölaitteistopalojen syynä on usein tekninen vika, jonka taustalla löytyy puutteellisesti tai kokonaan laiminlyöty kunnossapito. (Nurmi ym. 2005.)

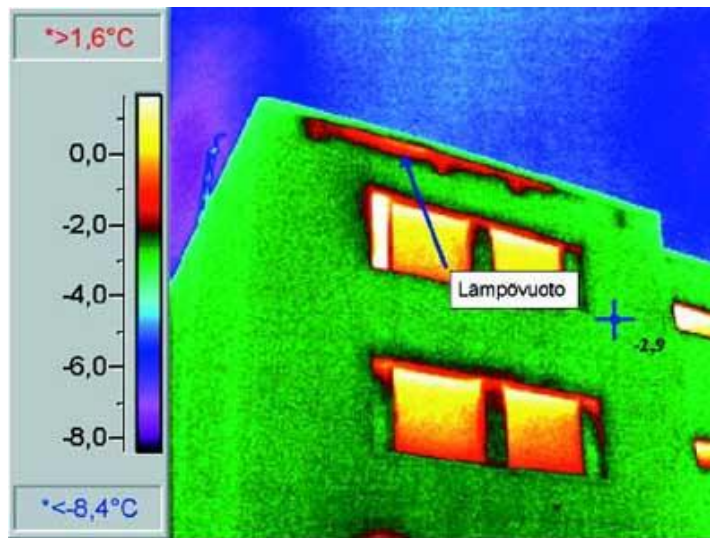
3 LÄMPÖKUVAUS YLEISESTI

Lämpökameran käyttökohteita löytyy nyt useammalta alalta kuin koskaan aiemmin, ja lämpökamerakuvaus onkin saavuttanut suurta suosiota ainetta rikkomattomana testausmenetelmänä eli NDT-menetelmänä monissa eri sovelluksissa. Lämpökameran kunnossapitosovelluksista yksi vanhimmista ja tunnetuimmista on sähkökunnossapito, mutta myös muilla kunnossapidon osa-alueilla, kuten mekaanisessa kunnossapidossa, lämpökamera on käyttökelpoinen työkalu. Lämpötiloista muodostettu kuva kertoo mm. laakerien kunnosta, ja lämpökameralla laakerien tarkastus käy nopeasti. Kiinteistöjen kuntotutkimuksessa havaittavissa ovat rakennusten lämpövuodot, kosteusvauriot ja ilma- vuodot sekä rakenteiden paikat. Muita mahdollisia kohteita ovat esim. kauko- lämpöverkon vuotokohtien paikannus, putkistojen tukkeumat tai säiliöiden pinnankorkeudet. Vaikka suurin osa valmistetuista lämpökameroista menee soti- laalliseen käyttöön, niin myös muissa kuin kunnossapidon kohteissa lämpöku- vaus on hyödyllinen apuväline. Lämpökameraa käytetään mm. palo- ja pelas- tusalalla ihmisten etsimiseen ja pelastamiseen. (Opetushallitus.)

3.1 Lämpökuvauksen periaate

Lämpökamera mittaa kuvattavan kohteen pintalämpötilaa. Lämpökameran toi- minta perustuu jokaisen kohteen pinnalta säteilevään lämpösäteilyyn, jonka voimakkuus riippuu kohteen pintalämpötilasta ja pinnan emissiokertoimesta. Lämpösäteilyn vastaanottimena toimivan lämpökameran ilmaisimien muuttua mita-

tun lämpösäteilyn lämpökuvaksi (Kuva 1) josta saadaan kohteen pintalämpötilajakauma. (Paloniitty 2005.)



Kuva 1 Lämpökameralla kuvattu rakennuksen lämpökuva (Opetushallitus)

Kameran näytölle reaaliajassa digitaalisesti muodostetusta lämpökuvasta eri lämpötilat nähdään eri väreinä tai harmaan eri sävyinä (Paloniitty 2005).

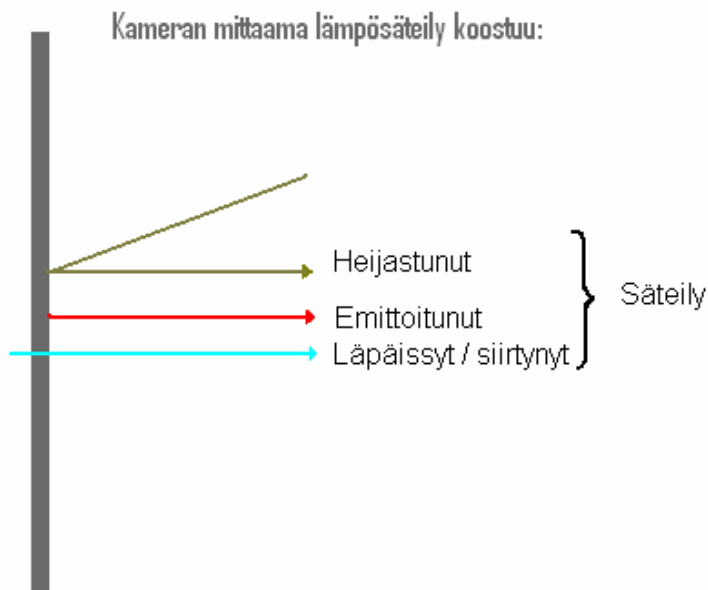
3.1.1 Lämpösäteily

Lämpösäteily on sähkömagneettista säteilyä, jonka aallonpituus huoneenlämpötilassa on enimmäkseen infrapuna-alueella, joten se on siis silmille näkymätöntä. Ihminen kuitenkin tuntee lämpösäteilyn lämpönä. Lämpötilan ollessa yli 500°C näkyvän valon osuus kasvaa ja säteilevä kohde on lievästi punahehkuihin ja lämpötilan noustessa yli 1500°C:een väri muuttuu valkohehkuseksi. (Inkinen & Tuohi 2006.)

Lämpösäteily on johtumisen ja kuljettumisen lisäksi yksi keskeisistä lämpöenergian leviämistavoista. Muista tavoista poiketen lämpösäteily ei tarvitse siirtymiseen mitään väliainetta ja, kuten muukin sähkömagneettinen säteily, lämpösäteily liikkuu valon nopeudella. Kaikki yli absoluuttisen nollapisteen (-273°C) lämpötilassa olevat kappaleet lähettävät pinnaltaan säteilyä ja säteilyn voimakkuus vastaa kappaleen todellista lämpötilaa. (Inkinen & Tuohi 2006; Infradex.)

3.1.2 Emissiivisyys

Lämpökamera mittaa kohteesta lähtevää kokonaissäteilyä. Käytännössä jokaisen kappaleen pinnalta heijastuu myös muista lähteistä peräisin olevaa säteilyä sekä joissakin tapauksissa myös pinnan läpi tullutta säteilyä (kuva 2). (Paloniitty 2005.)



Kuva 2 Lämpökameran mittaama kokonaissäteily (Uusitupa 2006)

Kappaleen itsensä lähettämän (emittoiman) lämpösäteilyn osuus kokonaissäteilystä ilmaistaan emissiivisyytenä asteikolla 0 – 1. Tämä pintamateriaalin mukaan määrittyvä emissiokerroin on suhdeluku, joka on todellisen pinnan säteilytehon ja ideaalisen säteilijän säteilytehon suhde. Ideaalisen säteilijän eli ns. mustan pinnan, josta emittoituu vain omaa säteilyä, emissiivisyys on siis 1. Ideaaliselle säteilijälle ei ole todellista vastinetta. (Inkinen & Tuohi 2006.)

Jotta lämpökameran mittaama lämpötila vastaa todellista pinnan lämpötilaa, on kameran asetuksista mahdollisesti valittavissa oleva emissiokerroin valittava kuvattavaa pintamateriaalia vastaavaksi. Taulukossa 1 on esitetty yleisten pintamateriaalien keskimääräisiä emissiivisyysarvoja.

Taulukko 1 Pintojen keskimääräisiä emissiivisyyksiä (Inkinen & Tuohi 2006; Fluke Corporation & The Snell Group 2009)

Pinta	Emissiivisyys
alumiini, hapettunut	0,25
alumiini, kiillotettu	0,1
betoni	0,7
emali, kaikki värit	0,9
kumi	0,93
kupari, hapettunut	0,8
kupari, kiillotettu	0,05
lakka	0,9
lasi	0,95
muovi	0,8 - 0,95
paperi, pahvi	0,9
posliini, lasitettu	0,92
puu	0,8 - 0,9
rautalevy, ruosteinen	0,7 - 0,85
sähköteippi, musta muovi	0,95
teräs, galvanoitu	0,28
teräs, hapettunut	0,88
tiili, tavallinen	0,85
öljyväri, kaikki värit	0,95

Pinnan emissiivisyyden ollessa lähellä yhtä, lämpökameralla on saatavissa lähellä todellista olevia pintalämpötila-arvoja. Tällaisia pintoja kuvattaessa suurin osa lämpösäteilystä on kohteesta itsestään ja heijastusten osuus on pieni. Kiiltävillä pinnoilla, joilla emissiivisyys on alle 0,5, lämpösäteilystä suurin osa voi olla heijastuksia. Näistä alhaisen emissiivisyyden pinnoista lämpökameralla todellisen lämpötilan mittaaminen on vaikeaa tai jopa mahdotonta. (Paloniitty 2005.)

3.2 Lämpökuvauksen hyödyt

Lämpökameroita on yleisesti pidetty kalliina, painavina ja hankalakäyttöisinä laitteina. Teknologian kehittymisen johdosta nykyaikaiset lämpökamerat ovat pieniä videokameran näköisiä laitteita, joiden käyttö on helppoa. Lämpökuvausta voi hyödyntää monissa erilaisissa tehtävissä, ja mm. teollisuuden ja kiinteistöjen kunnossapitotehtävissä lämpökameralla suoritettujen kuvausten avulla voidaan saada aikaan kustannussäästöjä. (Opetushallitus.)

Yksi tärkeistä lämpökuvauksen eduista on mittauksen nopeus, jolloin lyhyessä ajassa voidaan mitata useita kohteita. Lämpökamera ei myöskään tarvitse kontaktia kohteeseen, joten kohteen pinta ei vaurioidu ja myös erittäin kuumien kappaleiden mittaus on mahdollista. Mittaus voidaan suorittaa turvallisen välimatkan päästä vaarallisesta tai luoksepääsemättömästä kohteesta, ja lämpötilan mittaaminen onnistuu myös liikkuvasta kohteesta. Silloinkin kun lämpökameralla havaitun epänormaalin lämpötilan syy ei ole selvillä, sillä voidaan todeta lisätestauksen tarve. (Sintrol Oy 2003; Fluke Corporation & The Snell Group 2009.)

3.3 Lämpökameroiden ominaisuuksia

Lämpökamerat jaetaan kahteen päätyyppiin, mittaaviin ja ei-mittaaviin. Mittaavat kamerat näyttävät lämpötila-arvoja halutuista kohdista kuvaa ja niitä käytetään useilla käyttöaloilla, mm. kiinteistöjen kuntotarkastuksissa, teollisuuden ennakoivassa kunnossapidossa, lämpöprosessien tutkimuksissa ja lämpökorreloivien vikojen paikantamisessa. Ei-mittaavia lämpökameroita käytetään kohteissa, joissa varsinaisella lämpötilan arvolla ei ole merkitystä, kuten etsintä- ja valvontatehtävissä. (Opetushallitus; Infradex Oy.)

3.3.1 Mittausominaisuudet

Lämpökamerat toimivat lämpötila-alueella joka on noin -40 - +1500 °C. Tärkeimpiä ominaisuuksia lämpökameroissa on lämpöerotuskyky, joka tunnetaan

myös nimellä herkkyys. Lämpöerotuskyky määrittelee vierekkäisten pisteiden pienimmän havaittavan lämpötilaeron ja parhaimmillaan se on n. 0,02 °C. Itse lämpökuvan tarkkuuden eli kameran paikkaerotuskyvyn, joka kertoo lämpökuvassa olevien pisteiden lukumäärän, vähimmäisvaatimuksena voidaan pitää 120 x 120 kuvapistettä. Lämpötilan mittaustarkkuus kameroissa on tavallisesti ± 2 °C. (Hietanen 2010; Infradex Oy.)

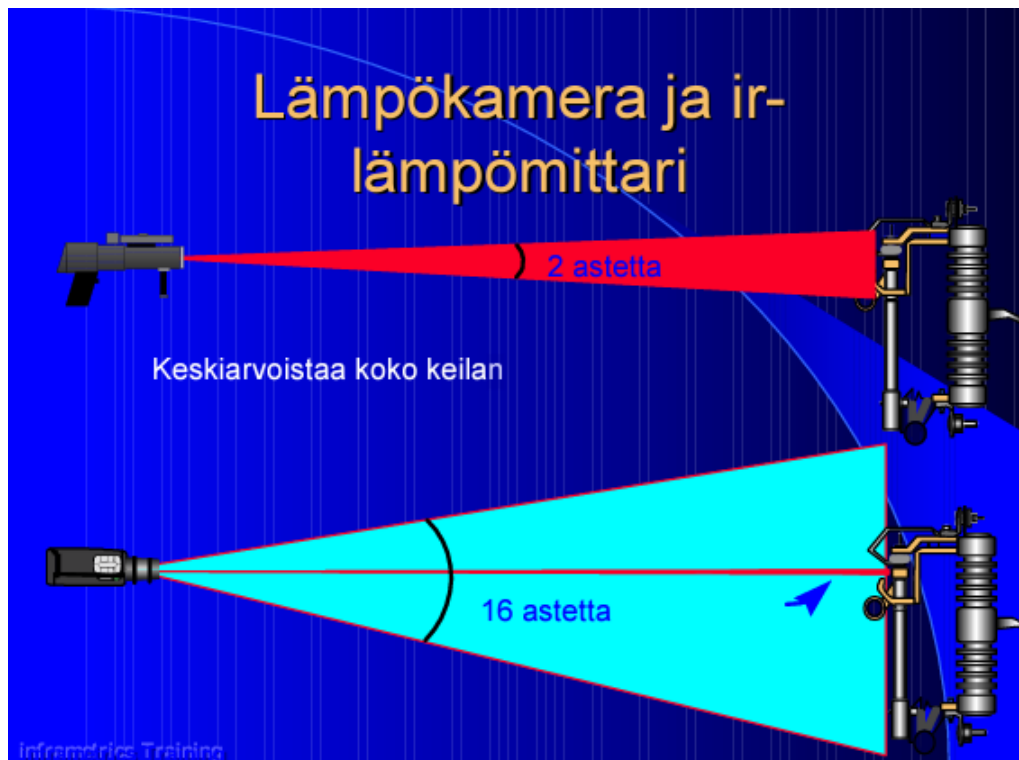
Tietyn pisteen lämpötilan mittauksen lisäksi lämpökameroista löytyviä yleisimpiä mittaussominaisuuksia ovat alueen minimi-, maksimi- tai keskiarvolämpötilan mittaus sekä määritetyssä lämpötilassa näkyvä ”värihälytys” tai lämpötilan osa-alue. Kameralla voi olla myös saatavissa yksittäisen kuvaan vedetyn viivan lämpötilakuvaajan profiili. Kuvatut lämpökuvat voi kamerasta riippuen tallentaa kameran sisäiseen muistiin tai muistikortille. (Infradex Oy.)

3.3.2 Optiikka

Koska tavallinen lasi ei läpäise ja taita lämpösäteilyä, lämpökameroiden optiikkamateriaali on usein hiilipinnoitettua germaniumia. Optiikkamateriaalien kalteudesta, optisten pintojen vaikeasta lämpötilahallittavuudesta ja läpäisyprosentin oleellisesta heikentymisestä johtuen lämpökameroihin ei normaalisti ole saatavissa optista zoomausta. Lämpökameran kuvaa voi kyllä suurentaa digitaalisesti, mutta se ei auta parantamaan kuvan resoluutiota tai mittaustarkkuutta. (Infradex Oy.)

3.4 Lämpökamera vs. infrapunalämpömittari

Lämpökameralla mitatussa lämpökamerassa on useita mittapisteitä, kun taas infrapunalämpömittari mittaa koko mittauskeilansa keskiarvoa (kuva 3). Joissain tapauksissa ir-lämpömittarilla voidaan saada vääriä mittaustuloksia ja mahdollinen vikatilanne jää havaitsematta. (Opetushallitus.)



Kuva 3 Lämpökameran ja infrapunalämpömittarin mittauksen erilaisuus (Päloniitty 2005)

Kuvan 3 mukaisessa mittaustilanteessa, jossa lämpökameralla havaitaan pienellä alueella oleva lämpimämpi kohta, infrapunalämpömittarin ilmaisema koko alueen keskimääräinen lämpötila ei paljasta laitteistossa olevaa mahdollista vikakohtaa. Mittausetäisyyden kasvaessa voi havaitsematta jäädä suuriakin lämpötilaeroja.

4 LÄMPÖKAMERAN KÄYTTÖ

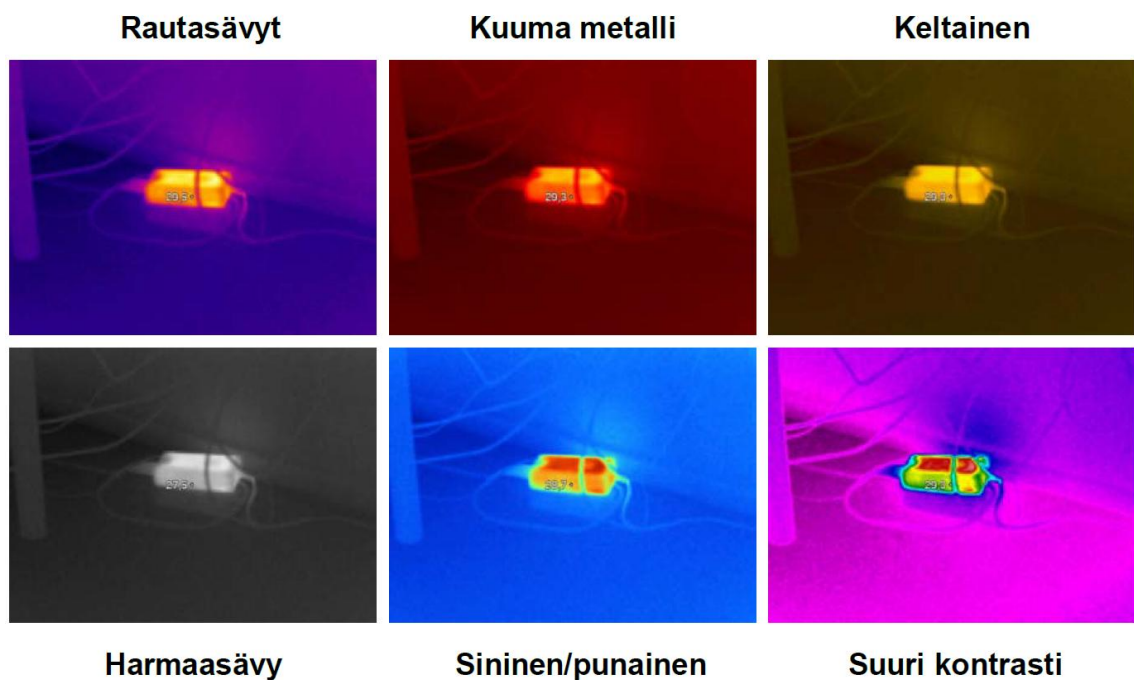
4.1 Asetukset

Lämpökameralla kuvattaessa tärkein kameran asetuksista on tarkennus, kuten tavallisessakin valokuvauksessa. Lämpökameran tarkennus tehdään lämpötilaeroon, ja jotta kohteesta saadaan luotettava mittaustieto on kuvan oltava tarkka. Toisin kuin monia muita lämpökuvan asetuksia, tarkennusta ei voi muuttaa jäl-

kikäteen lämpökuvaa muokattaessa. Kuvattavan kohteen pinnan ja materiaalin perusteella kameraan määritetään emissiokerroin. (Hietanen 2010.)

Lämpötilan mittausalueen automaattitila toimii yleensä hyvin. Tällöin kamera skaalaa kuvassa näkyvän asteikon maksimi- ja minimi-lämpötilojen mukaan. Jos mittausalueella on erittäin kuumia tai kylmiä kohteita, voi lämpötila-erojen tulkinnessa esiintyä ongelmia. (Hietanen 2009.)

Monissa kameramalleissa on valittavana kuvan väriavaruus eli paletti. Paletin valinnalla vaikutetaan väreihin, joilla lämpökuvassa esitetään lämpötilan vaihtelu ja toistuvuus kohteessa. Erilaisista vaihtoehtoista (kuva 4) valitaan se, josta ongelmat ovat parhaiten tunnistettavissa. (Fluke Corporation & The Snell Group 2009.)



Kuva 4 Flukin Ti25-lämpökameran väripaletti-vaihtoehdot (Hietanen 2009)

Lämpökamera, joka mahdollistaa paletin valinnan ja vaihtamisen sekä kamerassa että jälkikäteen kuvaa muokattaessa, antaa suuremman joustavuuden lämpökuvien analysointiin ja raportointiin (Fluke Corporation & The Snell Group 2009).

4.2 Kuvauksen tarkkuutta heikentävät tekijät

Koska lämpökameralla on nähtävissä vain kohteen pintalämpötila, kuvaajalla on oltava perustiedot lämmön kulkeutumisesta erilaisissa materiaaleissa ja rakenteissa sekä ymmärrys kuvattavasta kohteesta. Kohteesta riippuen rakenteen sisällä oleva tilanne on tulkittava pintalämpötilan kuvion perusteella. Esimerkiksi rakennuksen ulkoseinän lämpökuvassa voi näkyä erilaisia lämpökuvioita, mutta kuvaajan tehtävä on verrata tietoa rakenteeseen ja päätellä talon lämpöeristyksen taso. (Fluke Corporation & The Snell Group 2009.)

Nyky aikaisten lämpökameroiden tarkkuus on melko hyvä. Kuvattaessa korkea-emissiivistä, lievästi lämmintä pintaa kameran mittausalueen rajojen sisällä tarkkuus on mallista riippuen tyypillisesti $\pm 2^{\circ}\text{C}$ tai 2 %. Koska mittaus perustuu lämpösäteilyn havaitsemiseen, seuraavat tekijät heikentävät lämpökameran mittatarkkuutta:

- kohteen emissiivisyys alle 0,6
- yli $\pm 30^{\circ}\text{C}$:n lämpötilaerot
- kameran näkökentän laajuus
- mittaukset kameran erottelukyvyn ulkopuolella
- ympäristön olosuhteet.

Tarkkuuden parantamiseksi on mahdollista manipuloida emissiivisyyskerrointa esim. sähköteipillä tai maalaamalla pinta. Kameran näkökentän laajuuteen suurin vaikutus on kamerassa käytetyllä linssillä. (Fluke Corporation & The Snell Group 2009.)

Mittausetäisyyden rajoittava tekijä on kameran erottelukyky. Kameran ilmaistun erottelukyvyn ollessa 160 x 120 kuvapistettä, on viiden metrin päästä kuvattuna yhden näytöllä olevan pisteen kohteesta kattama alue n. 13 mm x 13 mm. Kun etäisyys on 20 m, yksi piste näytöllä on jo 51 mm x 51 mm kohteesta. Jotta lämpökameralla saadaan tarkkoja mittaustuloksia, on mittaus tehtävä mahdollisimman läheltä. (Hietanen 2009.)

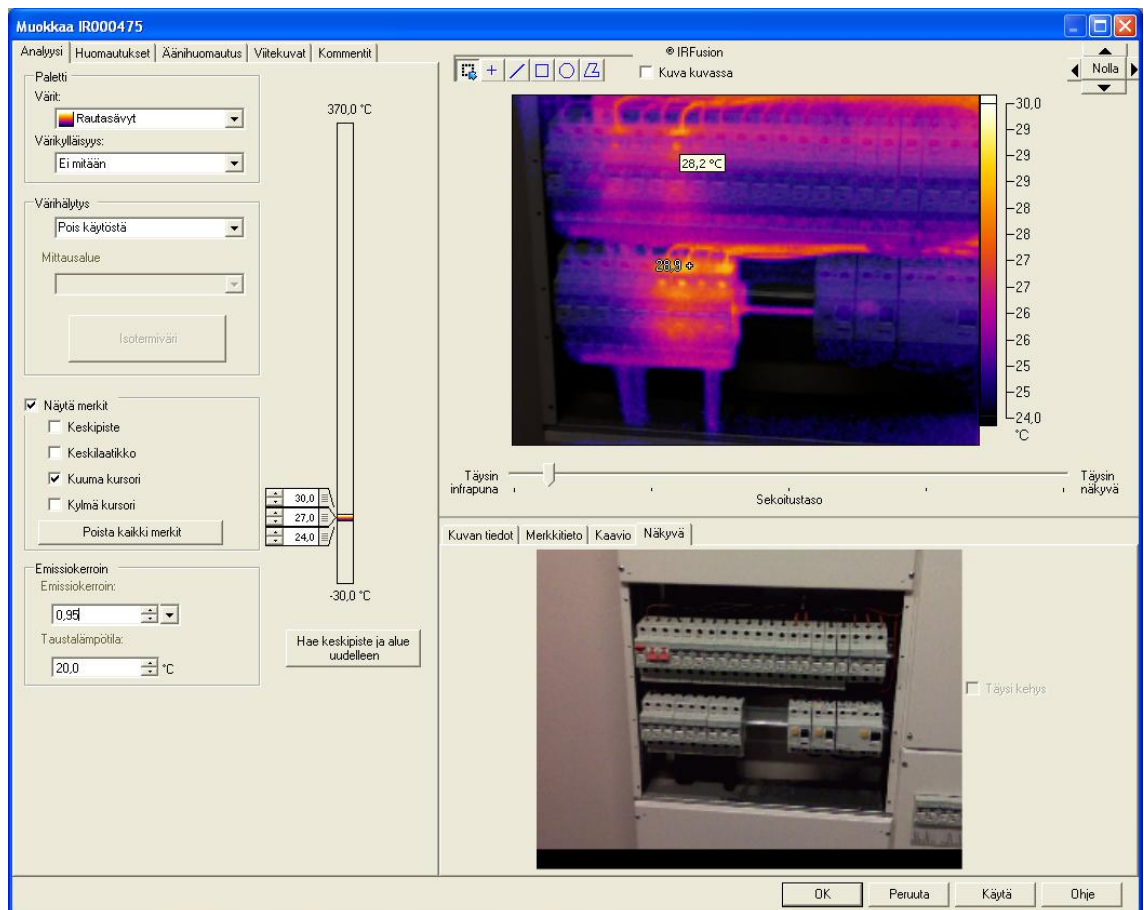
Ympäristön olosuhteet, kuten ilmankosteus, tuulen voimakkuus, epäpuhtaudet ja auringonvalo sekä kuvauskohteen lähellä olevat lämpimät pinnat, saattavat aiheuttaa muutoksia lämpökameran mittaustuloksiin. Mahdollisimman läheltä kuvaamisen lisäksi virheitä voi yrittää korjata pyrkimällä valitsemaan parempi kuvausajankohta, kuvaamalla kohteesta useita kuvia hieman eri suunnista tai muuttamalla kuvausolosuhteet paremmiksi. Kuvia analysoitaessa lähtökohta on se, että kuvaushetkellä on otettu huomioon olosuhteiden aiheuttamat mahdolliset virheet. (Uusitupa 2006.)

4.3 Kuvien käsittely ja analysointi

Useimpien lämpökameroiden kuvat ovat siirrettävissä tietokoneelle, jossa niitä voidaan käsitellä analysointi- ja raportointiohjelmistojen avulla. Ohjelmalla voi katsoa kuvia käyttäen eri väripalettia tai tehdä muita analysointia helpottavia muutoksia. Käsitellyt kuvat voidaan liittää luotaviin raportteihin. (Fluke Corporation & The Snell Group 2009.)

4.3.1 Fluke SmartView

SmartView on elektronisten mittauslaitteiden valmistaja Fluke Corporationin lämpökameroiden mukana toimitettava analysointi- ja raportointiohjelmisto. Ohjelmiston avulla kuviin voi lisätä huomautuksia ja luoda vapaasti muokattuja raportteja. Ohjelmalla (kuva 5) kuvasta on mahdollista saada kohteen lämpötila-arvo halutusta kohdasta kuvaa. (Fluke Finland.)



Kuva 5 Näkymä Fluke SmartView analysointi- ja raportointiohjelmistosta

Muokattavissa ovat mm. emissiokerroin, lämpötila-alue, paletti ja näkyvissä olevat piste-lämpötilat. Erikseen näkyviin saatavissa on myös lämpökameran samalla lämpökuvan kanssa kohteesta ottama tavallinen valokuva.

4.3.2 Kuvien tulkinta

Kuvia tulkittaessa on oltava käsitys kuvauskohteen lämpökäyttäytymisestä ja emissiivisyydestä. Kuvassa voi myös olla emissiivisyydeltään erilaisia pintoja, mikä on lämpötilaa arvioitaessa otettava huomioon. Emissiokerroin tulee määrittellä sen pinnan mukaan, josta halutaan saada absoluuttiset mittaustulokset. Käytettäessä lämpökameran automaattista lämpötila-aluetta on syytä tarkastaa, mitkä ovat kuvan suurin ja pienin lämpötila-arvo, jottei kohteen lämpenemää tulkita kriittisemmäksi kuin se todellisuudessa on. (Uusitupa 2006.)

Yksinkertaisimmillaan lämpökuvien tulkinta on silloin, kun kuvasta verrataan kahta täysin vastaavan pinnan lämpötilaeroa. Tällöin ei välttämättä tarvita tietoa emissiokertoimista, heijastumisista ja ympäristön olosuhteista. Riittää että kuvauskohde ja vertailupiste ovat kuvaan vaikuttavien ominaisuuksien suhteen samanlaisia. (Uusitupa 2006.)

Suuri osa lämpökuvauksesta on vertaavaa työtä, ja vertaamalla tutkittavaa kohdetta samanlaiseen kohteeseen on usein helppo havaita ongelma. Jotta lämpökuvaus olisi tehokasta, on kuitenkin ymmärrettävä tekijät, jotka lämpökuvaan vaikuttavat. Tuloksena voivat muuten olla epämääräiset tai harhaanjohtavat lämpötilatiedot. Kohteesta on hyödyllistä tietää rakenne, perustoimintaperiaate, käyttöhistoria, tunnetut vikaantumismekanismit sekä lämpökäyttäytyminen. Lämpökuvien vertaaminen voi myös tapahtua tiedettyyn normaaliin tai haluttuun lämpötilaan nähden. Kohteen oikean toimintalämpötilan määrittely on tällöin ratkaisevaa oikeiden johtopäätöksien tekemiseksi. (Fluke Corporation & The Snell Group 2009.)

Lämpökuvausta suoritettaessa on käytännöllistä tietää mahdollisimman paljon kuvattavasta kohteesta. Onnistumisen kannalta on oleellista, että kuvaaja kerää kaiken mahdollisen tiedon kohteesta, ymmärtää lämpökuvauksen rajat, suorittaa kuvaukset oikein sekä tulkitsee tulokset asianmukaisesti. (Fluke Corporation & The Snell Group 2009.)

4.3.3 Raportointi

Kameran käsittelyn ja käytön lisäksi lämpökuvaajan täytyisi pystyä tulkitsemaan lämpökuvia ja muodostamaan niistä yhdessä muun kohteesta saadun informaation perusteella selkeä kirjallinen raportti. Lämpökuvien lisäksi raportista tulisi löytyä

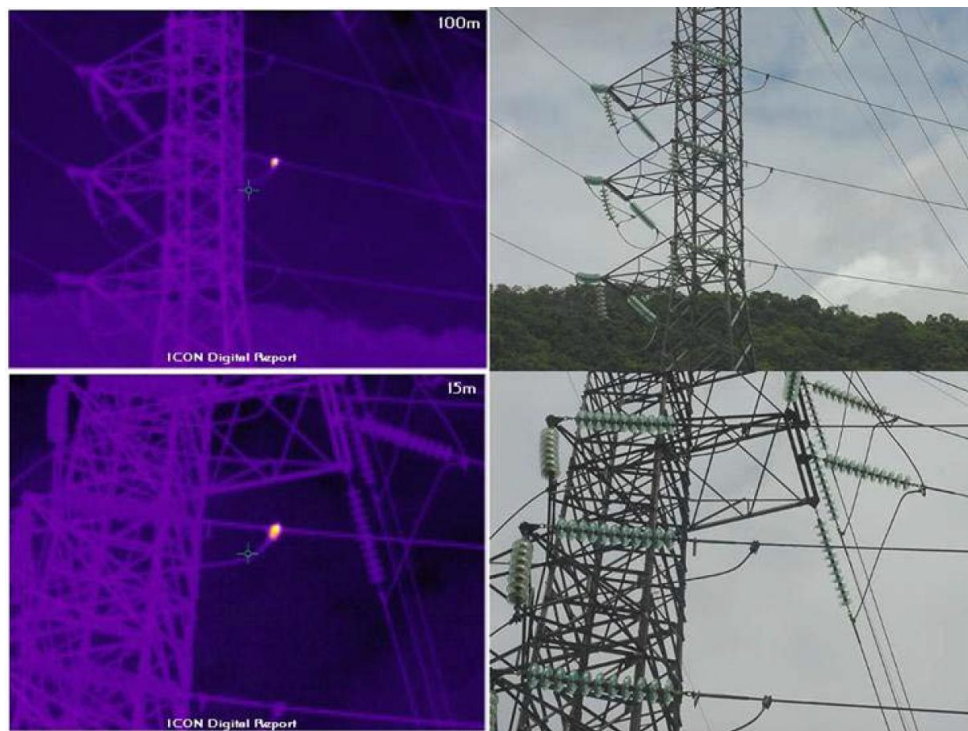
- kameran valmistaja, malli ja sarjanumero
- kameran tärkeimmät asetukset kuten emissiivisyys ja taustan lämpötila
- kohteen tunnistetiedot ja sijaintitiedot
- tietoja kohteen tilasta, esim. kuormitus

- oleelliset ympäristöolosuhteet
- valokuvia kohteesta.

Raporttien tyyli ja tietojen määrä voivat vaihdella tarkastettavan kohteen ja raportin tietoja hyödyntävien tarpeiden mukaan. Yleensä raportti sisältää myös ehdotuksia toimenpiteistä, joilla kuvauksilla havaittuja ongelmia voidaan korjata. (Fluke Corporation & The Snell Group 2009.)

5 SÄHKÖLAITTEISTOJEN LÄMPÖKUVAUS

Lämpökuvauksen nopeuden ja kosketuksettoman mittaustavan johdosta lämpökamera on hyvä apuväline sähköjärjestelmien kunnon seurantaan. Laitevioilla on usein selvä, tunnistettava lämpöjälki (kuva 6) ja kolmivaiheisten järjestelmien tarkastaminen on helpoimmillaan vain suoraviivaista vaiheiden keskenään samanlaisten komponenttien vertaamista. (Fluke Corporation & The Snell Group 2009.)



Kuva 6 Sähkölínjan kuumentunut liitos (Hietanen 2009)

Kuumentunut liitos on mahdollista havaita myös pidemmän välimatkan päästä, mutta tarkan lukeman saamiseksi olisi kuitenkin hyvä päästä lähemmäksi. Aina luotettavien johtopäätösten tekeminen ei kuitenkaan ole kovin yksinkertaista. Vikojen kriittisyyttä ei voi suoraan laittaa tärkeysjärjestykseen sen mukaan kuinka kuuma kohde on muihin viileämpiin komponentteihin verrattuna. Pelkkä lämpötila ei aina ole luotettava osoitus vian vakavuudesta vaan tulkintojen tueksi on syytä olla muita mittaustuloksia. Hyödyllisempi lähestymistapa kuin määrittelemällä tärkeysjärjestys lämpötilan mukaan, on ottaa huomioon kaikki komponentteihin vaikuttavat tekijät. Lämpökuvauksen suorittajan ymmärtäessä kuvattavan laitteiston toimintaa, myös lämpökuvauksesta saadut hyödyt ovat suuremmat. (Fluke Corporation & The Snell Group 2009.)

5.1 Huomioitavaa sähköjärjestelmien lämpökuvauksessa

Sähkölaitteistoja lämpökameralla tarkastettaessa ei tavallisesti ole tarvetta talentaa lämpökuvaa muista kuin havaituista vikakohdista. Kameran näytölle reaaliaikaisesti piirtyvän lämpökuvan avulla kohteet käydään järjestelmällisesti läpi mahdollisten lämpöpoikkeamien löytymiseksi, ja vasta havaittuihin ongelmakohtiin on tarvetta tutustua tarkemmin. Sähköjärjestelmiä kuvattaessa tärkeimmät huomioitavat asiat ovat turvallisuus, kuormitus ja kohteen kyky säteillä lämpösäteilyä eli emissiivisyys. (Fluke Corporation 2008.)

5.1.1 Kuormitus

Sähköjärjestelmiä lämpökameralla mitattaessa kuormituksen tulisi olla, jos mahdollista, korkein mahdollinen normaali kuormitus tai vähintään 40 % maksimikuormituksesta. Lisäksi sen pitäisi olla ollut käytössä vähintään puolen tunnin ajan. Mikäli kuormitus on alle 20 %, ei mittauksia tulisi tehdä ollenkaan, koska ongelmakohtien lämpötila ei nouse riittävän korkeaksi, jotta ne voitaisiin havaita. (Hietanen 2009.)

5.1.2 Turvallisuus

Lämpökuvaajan täytyy olla tietoinen työhön liittyvistä riskitekijöistä ja vaaroista. Sähkölaitteistojen lämpökuvaus kohdistuu aina virrallisiin järjestelmiin, jolloin on otettava huomioon sähköiskun tai valokaaren vaara. Koska lämpökuvaus ei vaadi kosketusta kohteeseen, valokaaren riski on yleensä suurempi kuin sähköiskun. Lämpökuvaukset on suoritettava riittävän turvallisen etäisyyden päässä jännitteisistä osista, ja vain koulutettu ja pätevä henkilö saa avata jännitteisten osien suojalevyjä tai ovia. Turvallisuuden ja kuvauksen nopeuden lisäämiseksi sähkökeskuksiin on mahdollista asentaa myös lämpösäteilyä läpäiseviä ikkunoita, jolloin mittauksen voi suorittaa ilman suoraa kosketus mahdollisuutta jännitteisiin osiin. (Fluke Corporation & The Snell Group 2009.)

5.1.3 Kohteen emissiivisyyden vaikutus

Osa sähkölaitteistoon kohdistuvasta lämpökuvauksesta tapahtuu vertaamalla samanlaisia komponentteja toisiinsa, jolloin tarkkoja lämpötila-arvoja ei ongelman havaitsemiseksi välttämättä tarvitse. Mittauksen onnistumisen ja informatiivisuuden lisäämiseksi on kuitenkin hyvä pyrkiä saamaan mahdollisimman hyviä ja tarkkoja lämpökuvia kohteesta. Parhaita mittatuloksia on saatavissa heijastamattomista pinnoista kuten kumista, posliinista ja useista eristeistä sekä maalatuista pinnoista. Alumiinikisko, kupari ja ruostumaton teräs taas ovat suuren heijastuvuuden takia huonoja pintoja lämpötilan mittausta varten. (Fluke Corporation 2008.)

5.2 Havaittavia vikoja

Suurin syy moniin sähköjärjestelmäongelmiin on epänormaali korkeaan vastukseen tai liialliseen virtaan liittyvä kuumeneminen. Kohonneet lämpötilat ovat nähtävissä lämpökameralla jo ennen suurempien vaurioiden syntymistä, ja pienikin lämpötilaero voi kertoa mahdollisesta ongelmasta. NETA:n (International Electrical Testing Association) ohjeiden mukaan kahden samanlaisen ja samantyyppisellä kuormituksella olevan sähköisen komponentin lämpötilaero ei saa ylittää

15°C, eikä lämpötilaero sähköisen komponentin ja ympäröivän ilman välillä saa ylittää 30°C. (Hietanen 2009.)

Lämpökameran mitatessa vain pintalämpötilaa täytyisi kameran nähdä sähköpiirit ja -komponentit suoraan. Jos koteloiden avaaminen ei ole mahdollista, esim. kiinteissä väyläkoteloissa tai muuntajissa, on kotelon pinnalta mitattu korkea lämpötila yleensä merkki kotelon sisällä olevasta vielä suuremmasta lämpötilasta. (Fluke Finland.)

5.2.1 Löysä tai syöpynyt liitos

Liitoksen löystyminen tai syöpyminen nostaa sen resistanssia, joka puolestaan aiheuttaa liitoskohdan lämpenemisen. Lämpökuvassa korkeamman resistanssin piste näkyy yleensä kuumana kohtana, josta kauemmaksi siirryttäessä lämpötila pienenee. Kaikki liitokset ja kontaktit voivat kuumentua, mutta mitä suurempi virta, sitä tärkeämpää on pieni vastus liitoskohdassa. Myös kytkimien, releiden ja katkaisijoiden koskettimien välillä voi olla huonon kontaktin resistanssin aiheuttamaa kuumenemistä. (Fluke Corporation 2005.)

5.2.2 Epäsymmetrinen kuorma tai ylikuormitus

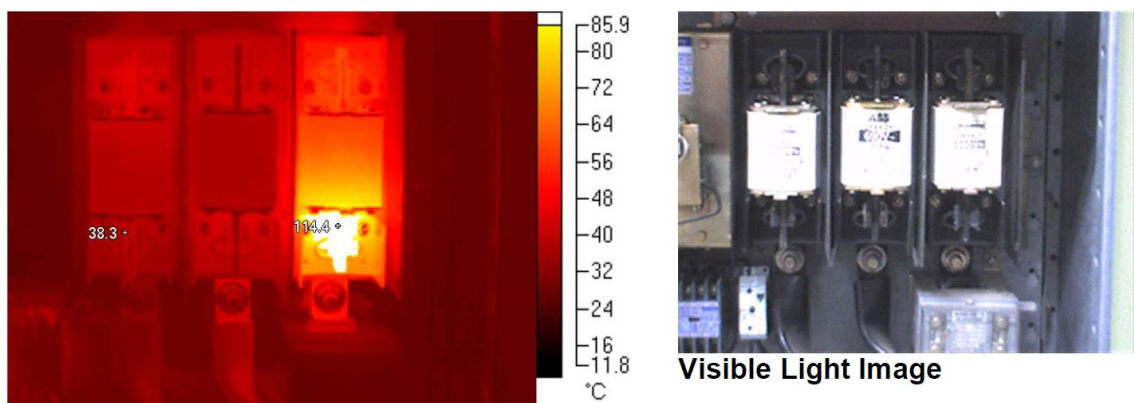
Tutkittaessa kaikkia kolmea vaihetta rinnakkain lämpötilaerot voivat kertoa järjestelmässä olevasta ongelmasta. Enemmän kuormitetut vaiheet näkyvät kuumempina, jolloin kuormitus on epäsymmetristä. Kuormituksen epätasapaino voi joissain tapauksissa olla normaalia tai se voi johtua esimerkiksi yhden vaiheen alijännitteestä tai moottorin käämityksen eristeen pettämisestä. Kun lämpökuvasta näkyy, että koko johdin on kuumempi kuin muut komponentit virtapiirissä, johdin voi olla myös alimitoitettu tai ylikuormitettu. Koska epäsymmetrinen kuorma, ylikuormitus, huono liitos ja harmoniset yliaallot voivat kaikki muodostaa samanlaisen lämpökuvion, on piiristä mitattava virta kuumenemisen syyn selvittämiseksi. (Fluke Corporation 2007.)

5.2.3 Muita mahdollisia vikoja

Lämpötilapoikkeamia sähköjärjestelmissä voivat aiheuttaa myös erilaiset komponenttiviadat, eristysviat, johdotusvirheet, alimitoitettut komponentit sekä harmoniset yliaallot. Myös kylmyys voi olla merkki viasta. Kyse voi olla esim. palaneesta sulakkeesta tai jonkin muun vian takia virrattomana olevasta vaiheesta. Muuntajan osittainen kylmyys voi johtua jäähdytysöljyn vähydestä tai sen virtauksen rajoittumisesta. (Hietanen 2009.)

5.3 Esimerkkitapauksia teollisuuden sähkökunnossapidosta

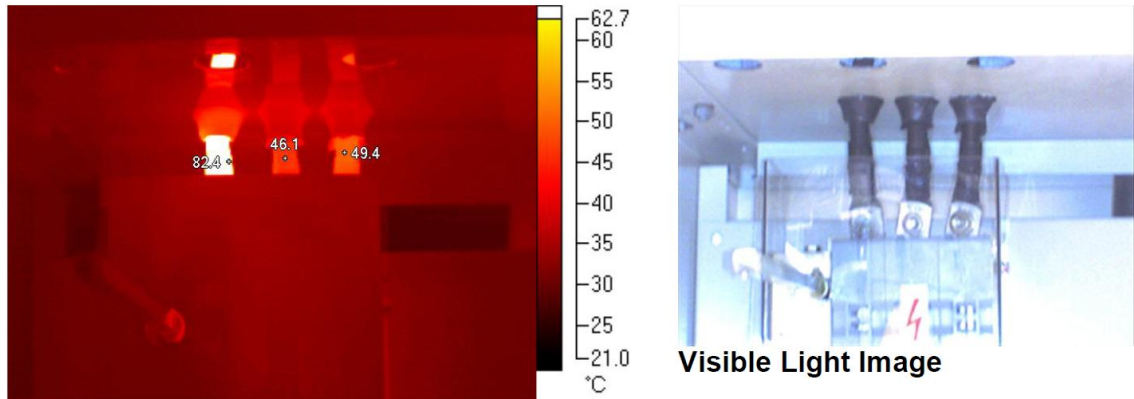
Stora Enson Imatran tehtaiden kunnossapidosta vastaa Efora Oy. Eforan suorittamaan tehtaiden toimintakunnon ylläpitoon sisältyvät oleellisesti myös säännöllisesti suoritettavat ennakkohuollon toimenpiteet. Sähköjakelun ennakkohuoltoon kuuluvat pääsääntöisesti 6 kk:n välein suoritettavat lämpökuvaukset, joiden avulla pyritään varmistamaan sähköjakelun häiriötön toiminta. Lämpökameralla huonot kontaktit liitoksissa on helposti löydettävissä (kuva 7).



Kuva 7 Syöttöpumpun kahvasulakkeet (Efora Oy 2011a)

Kuvan 7 mukaisessa tilanteessa ei paljaalla silmällä ole näkyvissä mitään hälyttävää, kun taas lämpökuva paljastaa, että yhden vaiheen kahvasulakkeen piti-
men lämpötila on erittäin korkea. Tilanne on korjattava mahdollisimman nopeasti.

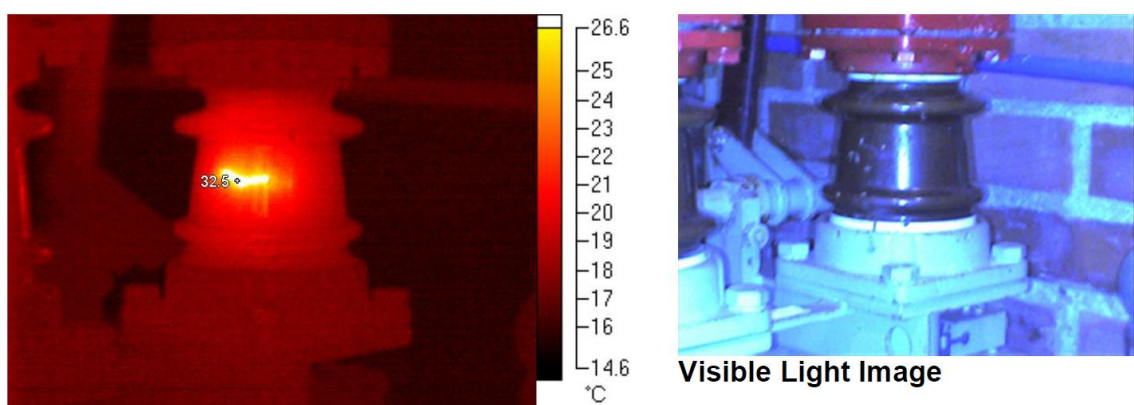
Vaikka aina ei ole mahdollista mitata tarkastettavia kohteita, kuten liitoksia suoraan (kuva 8), niin vikakohta voi olla löydettävissä myös johtuneen lämmön avulla.



Kuva 8 Sähkösuotimen pääkytkimen liitokset (Efora Oy 2011a)

Valokuvassa näkyvä läpinäkyvä suoja estää lämpötilan mittaamisen läheltä liitoskohtia, mutta kaapelin kohonnut lämpötila on selvä merkki lisäselvitysten ja korjauksen tarpeesta.

Löydetyt poikkeavat lämpötilat voivat auttaa löytämään myös epätavallisempia vikoja. Kuvan 9 katkaisijan eristimen kohonnut lämpötila paljastaa, että eristin ei ole täysin kunnossa.



Kuva 9 Pumppuaseman 10 kV:n katkaisijan eristimen kohonnut lämpötila (Efora Oy 2011a)

Huollossa selvisi, että katkaisijassa oli vettä ja se oli osittain ruostunut. Katkaisijan veitset olivat myös jumiutuneet ja ne täytyi avata väkisin (Efora Oy 2011b). Ilman lämpökuvausta toimimaton katkaisija olisi voinut jäädä havaitsematta.

6 KUVATUT SÄHKÖKESKUKSET

Sähkökeskukset on kuvattu Etelä-Karjalan koulutuskuntayhtymän kiinteistössä Koulukatu 5:ssä Imatralla helmikuussa 2010. Kuvaaminen tapahtui yhdessä kiinteistönhoitajan kanssa, joka suoritti luukkujen avaamisen sekä virtamittaukset. Kameran käytön opetteluun jälkeen nämä olivat minulle ensimmäinen tutustuminen sähkökeskusten lämpökuvaamiseen.

Kuvattujen keskusten määrä rajoittui lopulta viiteen keskukseen, joista jokaisesta ei saanut lämpökuvia. Kuvaamisen suurimmaksi ongelmaksi osoittautui näköyhteyden saaminen kuvattaviin sähkölaitteisiin. Keskuksien jokaista luukkua ei voinut avata ilman jännitteiden katkaisemista. Myöskään laitteistojen kuormitus ei ollut riittävä jokaisessa kuvaustilanteessa, jotta vikakohtien lämpötila nousisi havaittavalle tasolle.

6.1 Lämpökamera Fluke Ti25 ja käytetyt asetukset

Lämpökuvauksissa käytetty kamera oli Fluke Ti25 (kuva 10). Kameran lämpötilan mittausalue on -20 °C - $+350\text{ °C}$ ja tarkkuus $\pm 2\text{ °C}$ tai 2 %. Emissiokerroin on säädettävissä kameran valikoista. Ilmaisimen eli lämpökuvan tarkkuus on 160×120 ja valokuvien tarkkuus 640×480 . Kuvat tallennetaan muistikortille. (Fluke Finland 2007.)



Kuva 10 Lämpökamera Fluke Ti 25 (Fluke Finland)

Kuvauksissa käytetty emissiokerroin oli 0,95. Kerroin on sopiva monille keskuksesta löytyville materiaaleille, joista on saatavissa todellista vastaavia mittaustuloksia, kuten kaapelit ja sähköteippi. Kamerassa oli käytössä automaattinen lämpötilan mittausalueen valinta. Molempia asetuksia on mahdollista muokata jälkikäteen kuvia käsiteltäessä.

6.2 Nousukeskus 1

Nousukeskus 1:stä kuvattavissa olivat syöttökaapelit sekä pääkytkimen liittännät. Lämpökuvassa (liite 1) ei löytynyt mitään normaalista poikkeavaa. Liittimien kirkkaista pinnoista lämpötila ei ollut tarkasti mitattavissa, mutta kaapeleiden lähes samantasoisten lämpötilojen perusteella liitokset ovat kunnossa. Mikään lämpötila ei myöskään poikennut paljon ympäristön lämpötilasta.

6.3 Nousukeskus 3

NK 3:n kuvaaminen lämpökameralla ei ollut kuvauksia suoritettaessa mahdollista. Keskuksen (kuva 11) luokkuja ei voinut avata ilman jännitteen katkaisemista.



Kuva 11 Keskuksen luukkujen avaus vaatii jännitteen poiskytkemisen

Mikäli keskus tarkastettaisiin lämpökameralla, on kuvausvalmistelut tehtävä etukäteen.

6.4 Ryhmäkeskus 1

Ryhmäkeskus 1 (kuva 12) oli mahdollisuus kuvata tarvittavin osin kokonaan. Riviliittimet ja liitokset olivat lämpötilamittausten perusteella kunnossa.

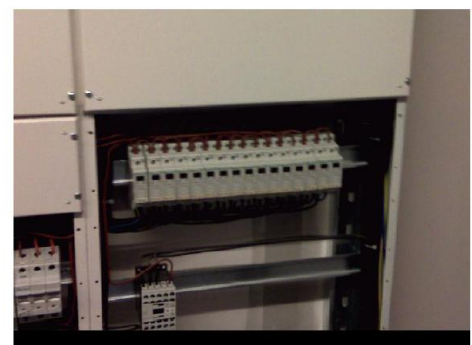


Kuva 12 Ryhmäkeskus 1 luukut avattuna lämpökuvausta varten

Keskuksen syötöstä mitatut virrat osoittivat että ensimmäisen vaiheen kuormitus oli muita korkeampi, jonka myös erottaa lämpökuvasta lämpökuvausraportissa (liite 2) Lämpötilojen ero ei kuitenkaan ollut merkittävän suuri. Keskuksessa sijaitsevien releiden lämpötila taas oli korkea (kuva 13). Releiden lämpötila oli noin 70 °C, eli yli 50 °C ympäristön lämpötilaa korkeampi.



Kuva 13 Kuumentuneet releet RK1:ssä

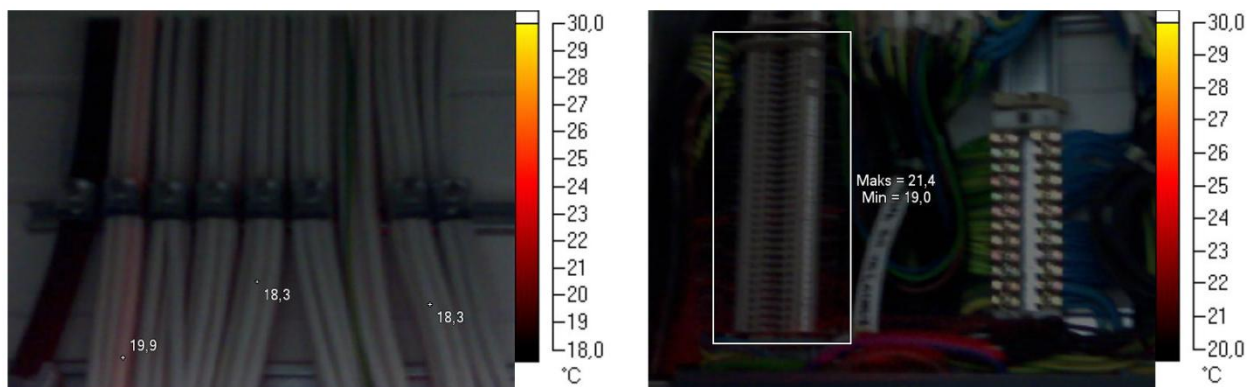


Näkyvän valon kuva

Lähekkäin olevat releet eivät mahdollisesti pääse tuulettumaan tarpeeksi. Releiden kestävyys kannalta tilannetta olisi syytä selvittää lähemmin.

6.4 Ryhmäkeskus 11

Ryhmäkeskus 11:n pääkytkimen kuvaus ei onnistunut jännitteellisenä suljettuna olevan luukun takia. Keskukselta lähtevistä ryhmäjohtoista tai keskuksen riviliittimistä ei ollut havaittavissa korkeita lämpötiloja (kuva 14).

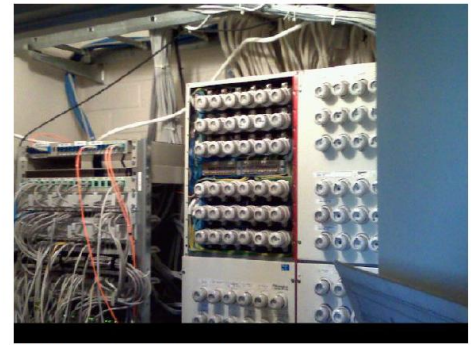


Kuva 14 Ryhmäkeskus 11:n ryhmäjohtojen ja riviliittimien lämpökuvat

Koska mitään poikkeuksellista ei havaittu, ei yksittäisten ryhmien kuormitusta mitattu.

6.4 Ryhmäkeskus 21

Keittiön ryhmäkeskuksen 21:n lämpökuvaus (kuva 15) ajoittui väärään ajankohintaan, koska kuormitus ei ollut suurimmillaan. Kuvaushetkellä moni keittiön laitteista ei ollut käytössä.



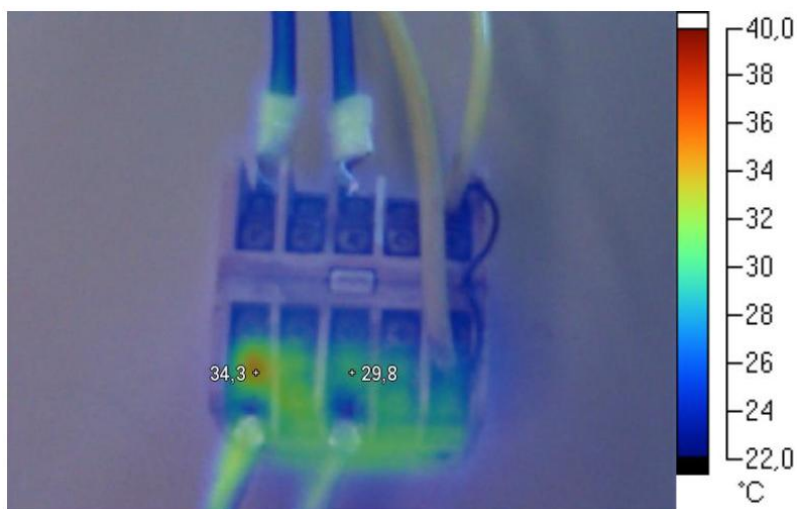
Näkyvän valon kuva

Kuva 15 Keittiön sulaketaulun lämpökuva

Havaitut lämpötilaerot jäivät lähes olemattomiksi. Ero kuumimman ja virrattoman ryhmän välillä oli vain kolme astetta.

6.4 Laboratoriokuvaukset

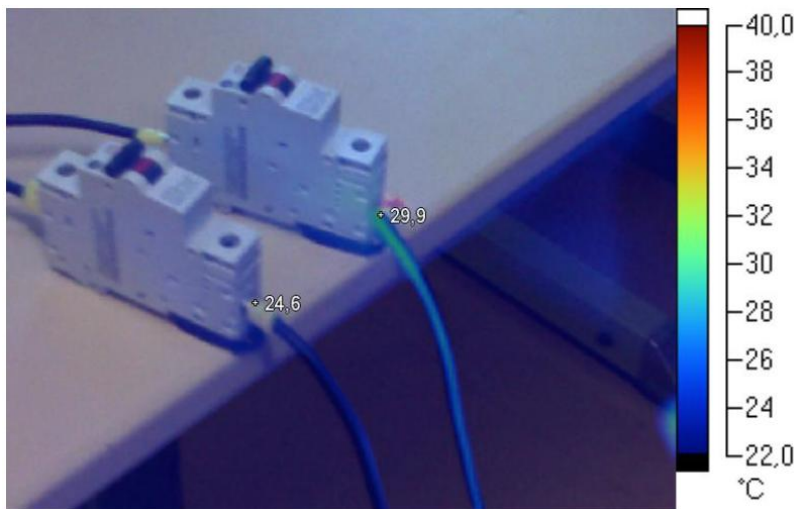
Laboratoriossa kuvatuissa lämpökuvuissa oli järjestettynä kaksi vikatilannetta. Molemmissa tilanteissa oli vierekkäin kaksi vaihetta, joista toisen liitokseen oli tehtynä lämpenemistä aiheuttava vika. Ensimmäisessä kytkennässä toisen vaiheen ruuviliitos oli löysällä (kuva 16).



Kuva 16 Laboratoriossa tehty vikatilanne – löysä liitos

Vaiheiden virtojen ollessa lähes samat (6,57 A ja 6,61 A), oli lämpötilaero löysän ja ehjän liitoksen välillä n. 4,5 °C. Toisessa kytkennässä osa toisen vaiheen

kaapelin säikeistä ei ole kytkentäruuvien alla kiinni vaan taivutettu ulospäin (kuva 17).



Kuva 17 Laboratoriossa tehty vikatilanne – huono kytkentä

Myös toisessa tilanteessa lämpötilaero oli selvästi havaittavissa lämpökameralla. Vaiheiden liitosten välillä oli noin 5 °C:n ero. Virrat olivat 5,06 A ja 5,18 A.

Yksinkertaiset kytkennät vahvistivat siis käytännössä, että kun virta on riittävän suuri, voi lämpökameralla havaita liitoksissa olevia vikoja.

7 YHTEENVETO

Ilman aikaisempaa kokemusta tai tietoa lämpökuvauksesta opinnäytetyön tekeminen edellytti kunnollista perehtymistä aiheeseen. Lähdemateriaalia lämpökuvauksesta löytyi paljon, ja työn edetessä havaitsin, että sitä oli kertynyt jo liikaa. Lähteiden karsiminen sujuvoitti opinnäytetyön tekemistä ja toimi opettavana kokemuksena laajan aihealueen järjestelemisestä. Monipuoliseen lähdemateriaaliin tutustuminen oli kuitenkin hyödyksi oman osaamisen lisäämiseen itse aiheesta.

Kuvatuista sähkökeskuksista ei löytynyt huomattavia vikakohtia, ja keskusten määrä jäi lopulta viiteen kuvattuun keskukseen. Sähkökeskuksia kuvatessa on-

gelmaksiksi ilmeni näköyhteyden saaminen virrallisiin osiin sekä pienehköt kuormitusvirrat. Jo työn alkuvaiheessa suoritettavat kuvaukset toimivat tutustumisena kuvaukseen. Etukäteen kuvaukset valmistelemalla ja ajoittamalla kuvaus suurimman kuormitusvirran hetkelle on mahdollista parantaa kuvausten luotettavuutta. Kuvat teollisuudesta näyttivät, että suurilla virroilla vikakohtien lämpötilat kohoavat todella korkeiksi ja säännölliset lämpökuvaukset ovat perusteltuja. Laboratoriokuvaukset osoittivat, että viat ovat havaittavissa myös alle kymmenen ampeerin virroilla. Jatkotutkimuksena voisi olla aihetta selvittää, miten pienen kokoluokan keskuksissa lämpökuvaus vielä on järkevää.

Kokonaisuutena opinnäytetyön tekeminen oli hyödyllinen prosessi ja osoitti, että lämpökameralla on mahdollista havaita sähköjärjestelmistä vikoja, jotka muuten jäisivät huomaamatta. Järjestelmien käyttövarmuuden lisäämiseksi tätä lämpökameran apua kannattaa käyttää hyödyksi.

KUVAT

Kuva 1 Lämpökameralla kuvattu rakennuksen lämpökuva, s. 10

Kuva 2 Lämpökameran mittaama kokonaissäteily, s. 11

Kuva 3 Lämpökameran ja infrapunalämpömittarin mittauksen erilaisuus, s. 15

Kuva 4 Fluken Ti25-lämpökameran väripaletti-vaihtoehdot, s. 16

Kuva 5 Näkymä Fluke SmartView analysointi- ja raportointiohjelmistosta, s. 19

Kuva 6 Sähkölinjan kuumentunut liitos, s. 21

Kuva 7 Syöttöpumpun kahvasulakkeet, s. 25

Kuva 8 Sähkösuotimen pääkytkimen liitokset, s. 26

Kuva 9 Pumppuaseman 10 kV:n katkaisijan eristimen kohonnut lämpötila, s. 26

Kuva 10 Lämpökamera Fluke Ti 25, s. 28

Kuva 11 Keskuksen luukkujen avaus vaatii jännitteen poiskytkemisen, s. 29

Kuva 12 Ryhmäkeskus 1 luukut avattuna lämpökuvausta varten, s. 30

Kuva 13 Kuumentuneet releet RK1:ssä, s. 30

Kuva 14 Ryhmäkeskus 11:n ryhmäjohtojen ja riviliittimien lämpökuvat, s. 31

Kuva 15 Keittiön sulaketaulun lämpökuva, s. 32

Kuva 16 Laboratoriossa tehty vikatilanne – löysä liitos, s. 32

Kuva 17 Laboratoriossa tehty vikatilanne – huono kytkentä, s. 33

TAULUKOT

Taulukko 1 Pintojen keskimääräisiä emissiivisyyksiä, s. 12

LÄHTEET

Efora Oy Imatran tehtaast. Sähköjakelun lämpökuvausraportit.

Efora Oy Imatran tehtaast. Katkaisijan huoltoraportti.

Fluke Corporation & The Snell Group. 2009. Introduction to thermography principles. USA: American technical publishers

Fluke Corporation. 2008. Solving electrical problems with thermal imaging. http://support.fluke.com/find-sales/Download/Asset/3359026_6251_ENG_A_W.PDF (Luettu 5.5.2010)

Fluke Corporation. 2007. Detecting electrical unbalance and overloads. http://support.fluke.com/find-sales/Download/Asset/2518873_6251_ENG_B_W.PDF (Luettu 5.5.2010)

Fluke Corporation. 2005. Tests and measurement for electrical fire prevention. http://support.fluke.com/find-sales/download/asset/2519680_a_w.pdf (Luettu 5.5.2010)

Fluke Finland. Lämpökuvauslaitteiden ratkaisukeskus. <http://www.fluke.com/Fluke/fifi/sovellukset/lampokuvaus/> (Luettu 17.5.2011)

Fluke Finland. 2007. Fluke Ti25-Lämpökameran tekniset tiedot.

Fluke Finland. Fluke SmartView IR, analysointi- ja raportointiohjelmisto. <http://www.fluke.com/Fluke/fifi/Lis%C3%A4varusteet/Ohjelmisto/Fluke-SmartView-IR.htm?PID=56169> (Luettu 27.4.2011)

Hietanen, M. 2010. Ryhtiä lämpökamerakuvauksen raportointiin. Promaint-lehti 3. <http://www.promaint.net/downloader.asp?id=3524&type=1> (Luettu 19.3.2011)

Hietanen, M. 2009. Fluke Finland Oy - Lämpökuvaus-koulutusmateriaali.

Infradex Oy. Lämpösäteily ja infrapuna <http://www.infradex.com/teoria.html> (Luettu 12.4.2010)

Infradex Oy. Lämpökameran toiminta <http://www.infradex.com/kuinka.html> (Luettu 4.5.2010)

Inkinen, P. & Tuohi, J. 2006. Momentti 1, Tekniikan fysiikka. 4. painos. Keuruu: Otava

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteistojen käyttöönotosta ja käytöstä 5.7.1996/517. <http://www.edilex.fi/tukes/fi/lainsaadanto/19960517?toc=1> (Luettu 19.4.2010)

Nurmi, V-P., Nenonen, A. & Sjöholm, K. 2005. Sähköpalot Suomessa TUKES-julkaisu 2/2005. http://www.tukes.fi/Tiedostot/julkaisut/2_2005.pdf (Luettu 13.5.2010)

Opetushallitus. EDU.fi Kunnossapito.
<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/index.html> (Luettu 4.5.2010)

Paloniitty, S. 2005. Rakennuksen lämpökuvaus (Elektroninen aineisto). Hämeenlinna: Hämeen amk. Saimaan ammattikorkeakoulun kirjaston verkkoaineisto: <http://www.eweline.com/ewelib/login/?lib=10090&ISBN=951-784-303-8> (Luettu 30.3.2010)

Saarenpää, J. 2006. Sähkötekniisten laitteiden kunnossapidon kehittäminen sinkkitehtaalla. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan osasto. Diplomityö.

Sintrol Oy. 2003. Kosketuksettoman lämpötilamittauksen perusteet.
<http://www.sintrol.com/files/sintrol/productfiled/561file1Upload.pdf> (Luettu 6.9.2010)

Suvanto, K. & Laajalehto, K. 2006. Tekniikan fysiikka 2. 1.-2. painos. Helsinki: Edita

Sähkötarkastusyhdistys. 2003. Sähköiset paloriskit ja niiden hallinta.
http://www.saty.fi/Tiedostot/Sahkopeto/Sahkoiset_paloriskit_ja_niiden_hallinta.pdf (Luettu 20.4.2010)

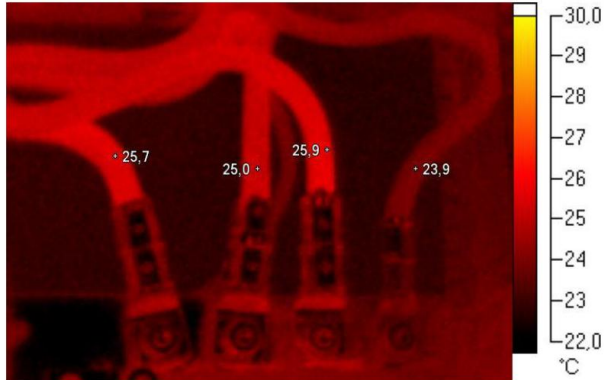
Sähköturvallisuuslaki 14.6.1996/410
<http://www.edilex.fi/tukes/fi/lainsaadanto/19960410> (Luettu 19.4.2010)

Turvatekniikan keskus. TUKES-ohje S4-2004. Sähkölaitteistot ja käytön johtajat
http://www.edilex.fi/tukes/fi/lainsaadanto/pdf/tukesohje_S4-2004.pdf (Luettu 19.4.2010)

Uusitupa, T. 2006. Lämpökamerakuvaaminen ja kuvien analysointi. Tampereen ammattikorkeakoulu. Talotekniikan koulutusohjelma. Tutkintotyö.

LÄMPÖKUVARAPORTTI

Koulukatu 5 - NK1



Näkyvän valon kuva

NK1-IR000442.IS2

2.2.2010 13:12:06

L1 = 48 A

L2 = 42 A

L3 = 38 A

Kuvan tiedot

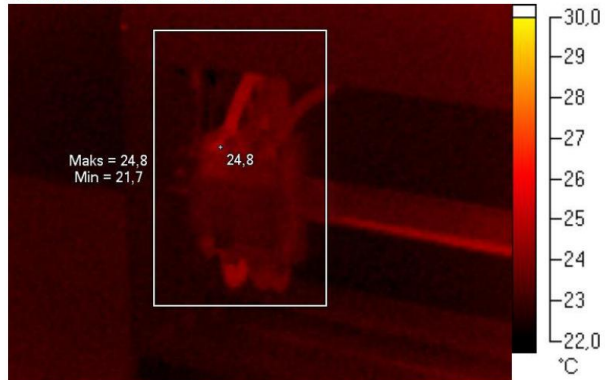
Taustan lämpötila	20,0°C
Emissiokerroin	0,95
Keskim lämpötila	23,6°C
Kuvan lämpötila-alue	21,8°C ... 25,9°C
Kameran malli	Ti25
Kameran sarjanumero	Ti25-09100233
Valmistaja	Fluke
Linssin kuvaus	20mm
Kuvausajankohta	2.2.2010 13:12:06
Kalibrointialue	-22,0°C ... 125,0°C

Pääkuvan merkinnät

Nimi	Lämpötila
L1	25,9°C
L3	25,7°C
L2	25,0°C
N	23,9°C

LÄMPÖKUVARAPORTTI

Koulukatu 5 - RK1



Näkyvän valon kuva

RK1-IR000473.IS2

15.2.2010 10:14:24

L1 = 23-34 A

L2 = 6 - 17 A

L3 = 13 A

Kuvan tiedot

Taustan lämpötila	20,0°C
Emissiokerroin	0,95
Keskim lämpötila	22,9°C
Kuvan lämpötila-alue	21,7°C ... 24,9°C
Kameran malli	Ti25
Kameran sarjanumero	Ti25-09100233
Valmistaja	Fluke
Linssin kuvaus	20mm
Kuvausajankohta	15.2.2010 10:14:24
Kalibrointialue	-22,0°C ... 125,0°C

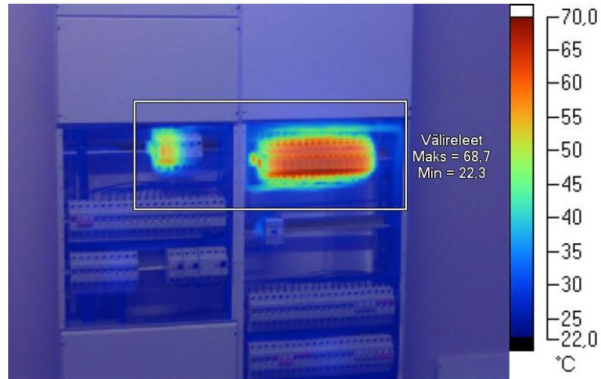
Pääkuvan merkinnät

Nimi	Minimi	Maksimi
Alue	21,7°C	24,8°C

Nimi	Lämpötila
Kuuma	24,8°C

LÄMPÖKUVARAPORTTI

Koulukatu 5 - RK1



Näkyvän valon kuva

RK1-IR000488.IS2

15.2.2010 10:35:25

Releissä korkea lämpötila!

Kuvan tiedot

Taustan lämpötila	20,0°C
Emissiokerroin	0,95
Keskim lämpötila	26,6°C
Kuvan lämpötila-alue	22,3°C ... 68,7°C
Kameran malli	Ti25
Kameran sarjanumero	Ti25-09100233
Valmistaja	Fluke
Linssin kuvaus	20mm
Kuvausajankohta	15.2.2010 10:35:25
Kalibrointialue	-22,0°C ... 125,0°C

Pääkuvan merkinnät

Nimi	Minimi	Maksimi
Välireleet	22,3°C	68,7°C